

I. Geologic time

MĚŘENÍ ČASU V GEOLOGII (datování hornin)

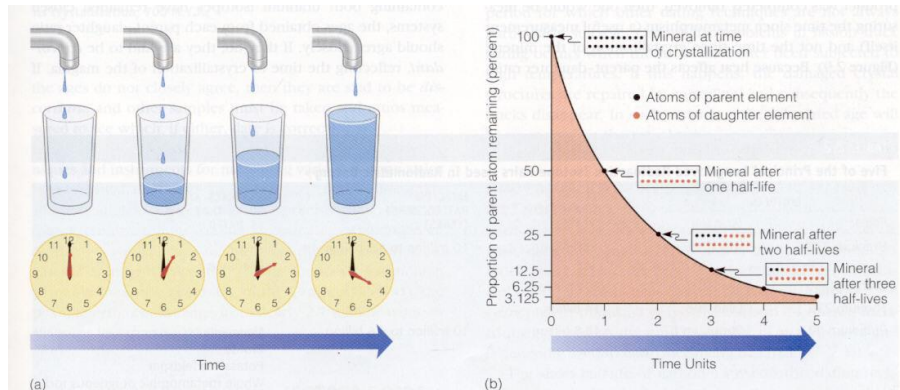
- POMĚRNÉ
- ČÍSELNÉ

Číselné datování: metoda

Číselné měření času:

pravidelně se opakující proces, doba trvání jednoho cyklu

jednotky: rok a násobky ka (ky), Ma (My), Ga (Gy),



Radiometrické metody

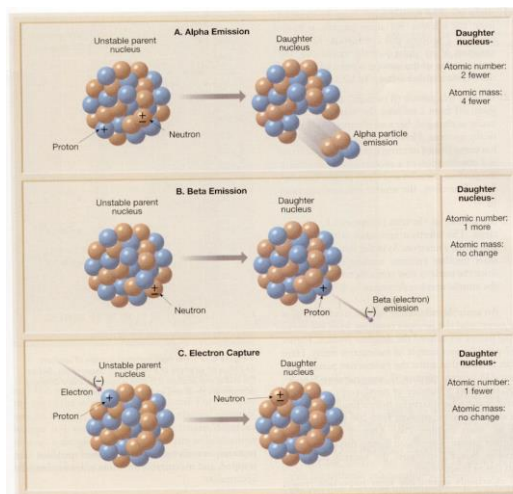
- **Radioaktivita: spontánní rozpad izotopů za současného uvolňování (tepelné) energie (Pierre a Marie Curieovi, 1903)**

Využití v geologii

- Vysvětlení původu zemského tepla
- Absolutní datování (určování stáří) hornin a minerálů

Základní pojmy:

- **prvek – jádro** – neutrony a protony – obal - elektrony
- **atomové číslo** – počet protonů
- **atomová hmotnost** – počet neutronů a protonů
- **radioaktivní rozpad** – nestabilní jádro se mění na jádro jiného prvku, změna atomového čísla
 - alfa rozpad -> emise heliového jádra
 - beta rozpad -> emise elektronu, neutron -> proton
 - elektronový záchyt – příjem elektronu, proton -> neutron

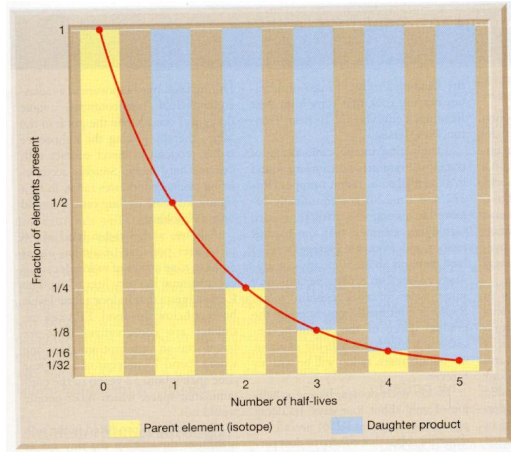


Poločas rozpadu:

poločas rozpadu – doba, za kterou se polovina mateřských prvků změní na dceřinné prvky

TABLE 8.1 Isotopes Frequently Used in Radiometric Dating

Radioactive Parent	Stable Daughter Product	Currently Accepted Half-life Values
Uranium-238	Lead-206	4.5 billion years
Uranium-235	Lead-207	713 million years
Thorium-232	Lead-208	14.1 billion years
Rubidium-87	Strontium-87	47.0 billion years
Potassium-40	Argon-40	1.3 billion years



Rozpadové řady

Datování:

- **Proces:** spontánní radioaktivní rozpad izotopů
- **Doba cyklu:** poločas rozpadu

Metody (rozpadové řady)

- $U^{238} \rightarrow Pb^{206}$
- $U^{235} \rightarrow Pb^{207}$
- $Rb^{87} \rightarrow Sr^{87}$
- $K^{40} \rightarrow Ar^{40}$

Podmínky a možnosti měření:

- vyvřelé horniny (celá hornina, separované minerály – slídy, zirkon, monazit)
- chemicky uzavřený systém – nelze odebrat ani přidat mateřské ani dceřinné prvky

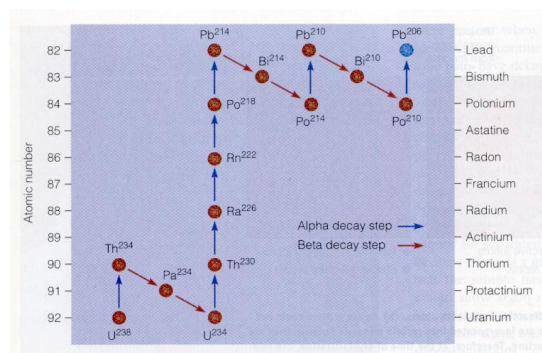


TABLE 1-3 Some of the More Useful Nuclides for Radioisotopic Dating

Parent Nuclide*	Half-Life†	Daughter Nuclide	Source Materials
Carbon-14	5730 years	Nitrogen-14	Organic matter
Uranium-238	4.5 billion years	Lead-206	Zircon, uraninite, pitchblende
Uranium-235	704 million years	Lead-207	
Thorium-232	14 billion years	Lead-208	
Rubidium-87	48.8 billion years	Strontium-87	Potassium mica, potassium feldspar, biotite, glauconite, whole metamorphic or igneous rock
Potassium-40	1251 million years (1.251 billion years)	Argon-40 (and calcium-40)‡	Muscovite, biotite, hornblende, whole volcanic rock, glauconite, and potassium feldspar††

*Nuclide is a convenient term for any particular atom (recognized by its particular combination of neutrons and protons).

†Half-life data from Steiger, R. H., and Jäger, E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters* 36:359–362.

‡Although potassium-40 decays to argon-40 and calcium-40, only argon is used in the dating method because most minerals contain considerable calcium-40, even before decay has begun.

Metoda ^{87}Rb

- “whole rock” analysis
- Parciální krystalizace: nárůst koncentrace Rb a Sr ve zbytkové tavenině
- Plagioklas uzavírá Sr v krystalové mřížce, avšak ne Rb
- Různé poměry Rb/Sr v různých kry jedincích

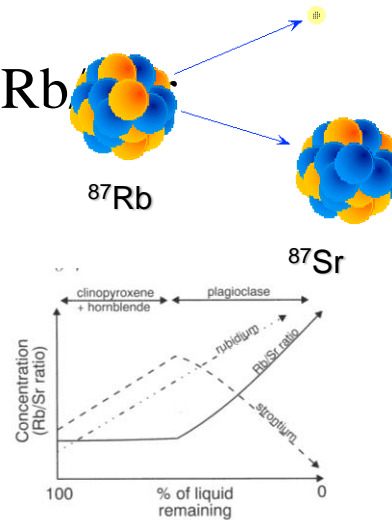


Figure 12.1 Diagrammatic representation of the concentrations of Rb and Sr, and variations in the Rb/Sr ratio during the crystallization of a granitic magma. Note that for a crystallizing assemblage of clinopyroxene and amphibole, both Rb and Sr are incompatible and thus their concentrations increase with an increasing amount of crystallization. Once plagioclase is stable on the liquidus, because $K_D^{\text{Sr/plag}} > 1$, the Sr concentration decreases, Rb continues to increase and thus the Rb/Sr ratio of the system increases. This gives a final suite of rocks with variable Rb/Sr ratios

Rb-Sr izochrona

- Rovnice:
- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_m = ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}_m (e^{\lambda t} - 1) + ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i (R_0 = \text{initial ratio})$
- $y = ax + b$
 - kde $a = \text{sklon přímky}$
 - $b = \text{průsečík s osou } y$
 - $t = 1/\lambda \times \ln(\text{sklon} + 1)$

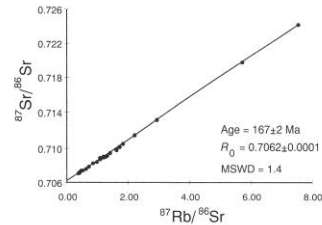


Figure 12.3 Rb-Sr isochron for a zoned diorite-granodiorite-adamellite intrusion at Bildad Peak, Graham Land, Antarctic Peninsula. Note the broad spread of $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, which gives a statistically precise fit of the data to the isochron equation, and thus a low MSWD. [Based on data in: Pankhurst (1982)]

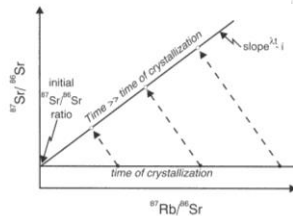
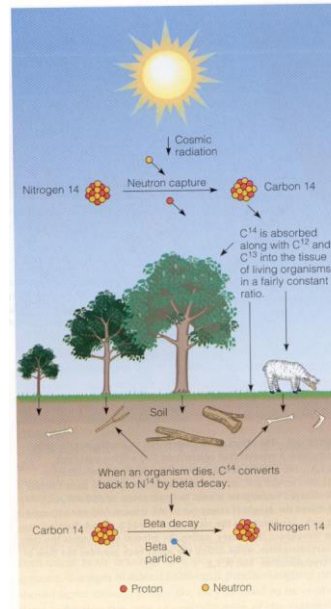
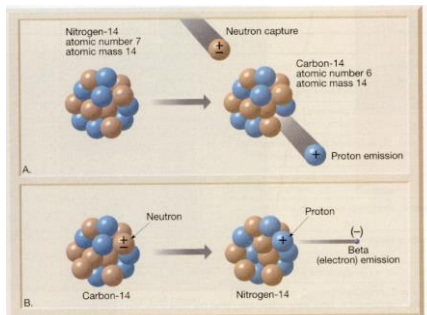


Figure 12.2 Diagrammatic representation of an isochron diagram showing the evolution of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ from the time of crystallization (solid circles) to a time much later than that of crystallization (open circles). Note that $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ increases though time whereas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ decreases. The age of the intrusion (specifically, the time since crystallization) can be calculated from the slope of the isochron by applying equation (2). The intercept is the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of the system at the time of crystallization and has petrogenetic significance

Metoda radiouhlíku

- Willard F. Libby (1906 – 1980), Nobelova cena za chemii 1960
- Organická hmota, poločas rozpadu 5700 let, použití: holocén, svrchní pleistocén
- $\text{N}^{14} \rightarrow \text{C}^{14}$,
- fixace C^{14} do organické hmoty
- $\text{C}^{14} \rightarrow \text{N}^{14}$



Metoda štěpných stop (fission track)



FIGURE 2.10 Each fission track (about $16\ \mu\text{m}$ in length) in this apatite crystal is the result of the radioactive decay of a uranium atom. The crystal, which has been etched with hydrofluoric acid to make the fission tracks visible, comes from one of the dikes at Shiprock, New Mexico, and has a calculated age of 27 million years.

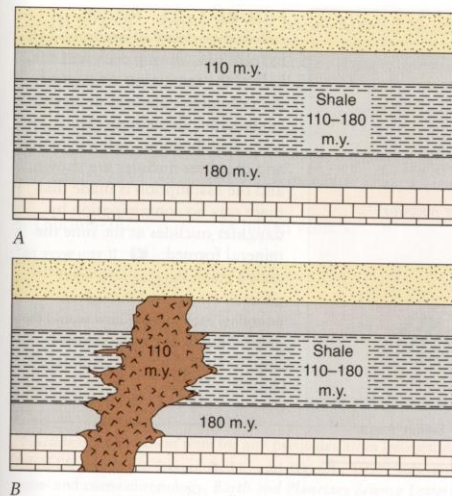
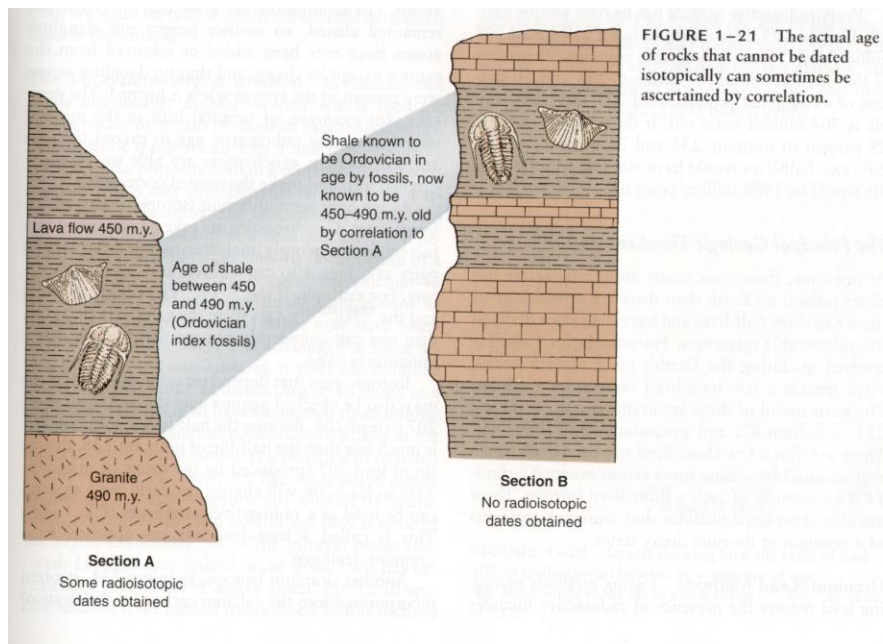
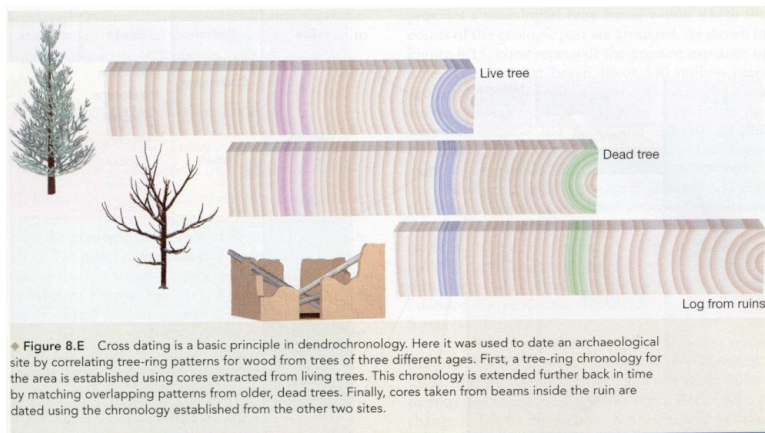


FIGURE 1–20 Igneous rocks that have provided absolute radiogenic ages can often be used to date sedimentary layers. (A) The shale is bracketed by two lava flows. (B) The shale lies above the older flow and is intruded by a younger igneous body. (Note: m.y. = million years.)



Dendrochronologie

- **Proces:** růst letokruhů dřeva
- **Doba cyklu:** 1 rok (sezónní přírůstek)
- **Použití:** do – 5 000 let



Metody stratigrafie – založené na principech relativního datování hornin

stratigraphic correlation *Geologic study concerned with establishing geochronological relationships between different areas, based on geologic investigations of many local successions.*

comparison of layers of sedimentary and igneous rock of the same age and relating them to subdivisions on a single stratigraphic scale. The comparison may cover sections taken from different boreholes in single oil-bearing areas or sections from boreholes in separate deposits (coals, salts), as well as large areas and even several continents (telecorrelation and intercontinental correlation). Correlation uses all possible methods of comparison—logging data, tracing of marker beds and their particular layering, biostratigraphic methods, and isotope determinations of the age of rocks. As a result of correlation a stratigraphic chart is compiled. In the left part of the chart subdivisions of a single stratigraphic scale are drawn and, in the right part, a stratigraphic scheme of deposits encountered in the region being studied.

Chronostratigrafie (time-rock units) – korelace horninových celků uložených během určitého časového intervalu

Biostratigrafie – korelace horninových celků definovaných jejich obsahem fosilií

Litostratigrafie – korelace na základě litologie a fyzikálně-chemických parametrů hornin

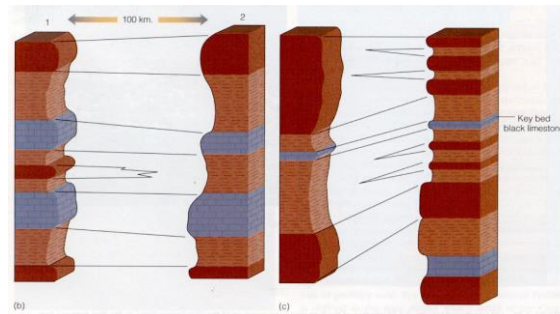
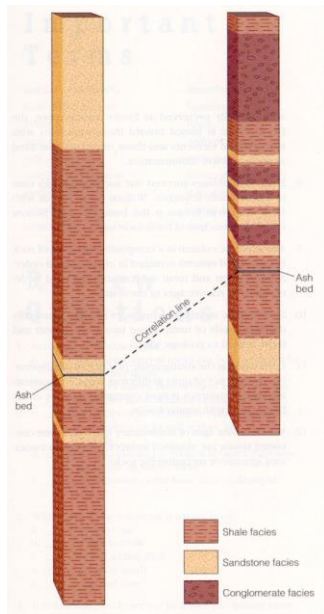
Magnetostratigrafie (polarity time units) – korelace horninových celků na základě reverzí zemského magnetického pole

Eventostratigrafie, chemostratigrafie ...

LITOSTRATIGRAFIE



LITOSTRATIGRAFIE



Korelace na základě litologických znaků sedimentu: minerální složení, struktura, textura, mocnosti vrstev, atd.

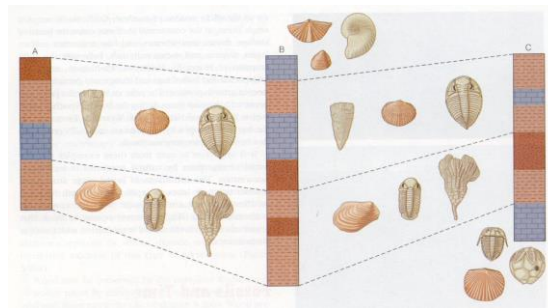
litostratigrafické jednotky – superskupina > skupina > souvrství > vrstvy (člen) > vrstva

Marker (key bed)

definice a principy vymezení jednotek, stratotypy

BIOSTRATIGRAFIE

Cenozoic	Quaternary	
	Tertiary	
Mesozoic	Cretaceous	<i>Lingula</i>
	Jurassic	
	Triassic	
	Permian	
Paleozoic	Pennsylvanian	
	Mississippian	
	Devonian	<i>Atrypa</i>
	Silurian	
	Ordovician	
	Cambrian	<i>Paradoxides</i>



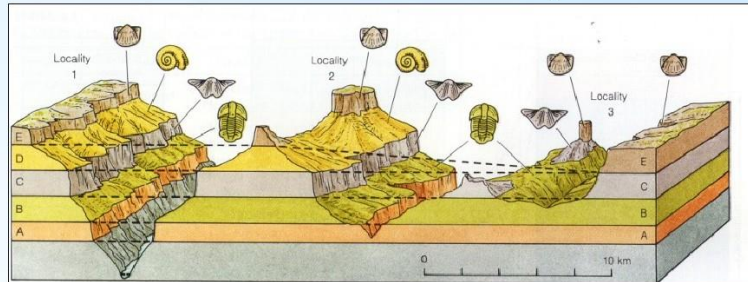
Korelace na základě stejných fosilií (princip stejných zkamenělin)

Indexové fosilie (vůdčí zkameněliny), pravidla: kosmopolitní, dobrá identifikovatelnost, rychlá evoluce, hojný výskyt (Ammonoidea, Radiolaria, Conodonta, Coccolithophorida, Trilobita, atd.)

Biostratigrafická zóna (biozóna), typy zón: intervalová zóna, zóna společenstva, zóna rozsahu

Biostratigrafické zonace

Correlation of strata using fossils



- Identical fossils mean strata are same age

Biostratigraphic Zones

Biozones - the most fundamental biostratigraphic units.

A zone is a body of rock whose lower and upper boundaries are based on the ranges of one or more taxa (usually species or phena) (see this [Figure](#) for graphic examples of the major types of biostratigraphic zones)

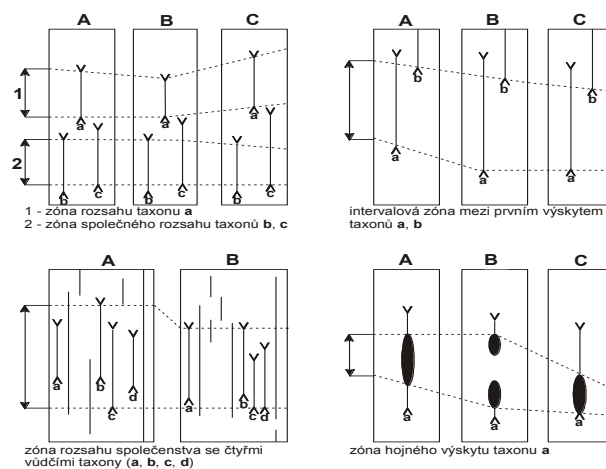
Index Fossils Guide Fossils (other terms used: Zone Fossil, Index Fossil)

A good index fossil must be:

1. Independent of environment
2. Fast to evolve
3. Geographically widespread
4. Abundant
5. Readily preserved
6. Easily recognised

Examples: Graptolites, Ammonites, Foraminiferans, Pollen, Nannoplankton

Grafické znázornění příkladů biozón
(upraveno dle Chlupáč & Štorch 1997)



Vysvětlivky:
A, B, C - stratigrafické profily
a, b, c, d - vúdčí taxony (znaky)
Y - nejvyšší výskyt taxonu (znaku)
A - nejnížší výskyt taxonu (znaku)
■ - hojný výskyt taxonu
 hranice biozón

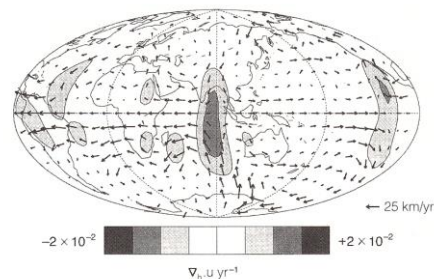
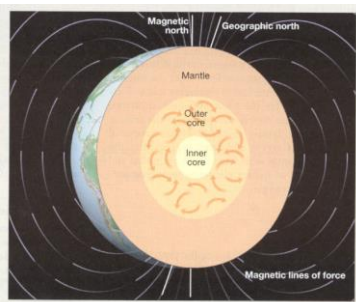
Biostratigrafické zonace

ÚTVAR	STUPĚŇ	
		kondontová biozóna
KARBON	TOURNAI	Scalioognathus anchoralis- Doliognathus latus
		Gnathodus typicus
		Siphonodella isosticha - sv. Si. crenulata
		spodní Siphonodella crenulata
		Siphonodella sandbergi
		Siphonodella duplicata
		Siphonodella sulcata
DEVON	FAMEN	Siphonodella praesulcata
		Palmatolepis expansa
		Palmatolepis postera
		Palmatolepis trachytera
		Palmatolepis marginifera
		Palmatolepis rhomboidea
		Palmatolepis crepida
		Palmatolepis triangularis
		Palmatolepis linguiformis

MAGNETOSTRATIGRAFIE

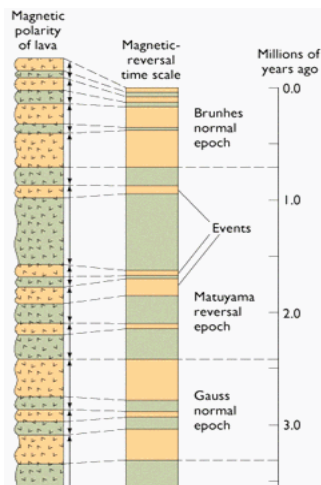
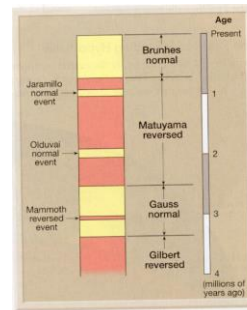
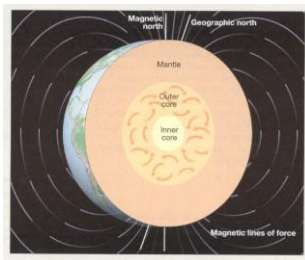
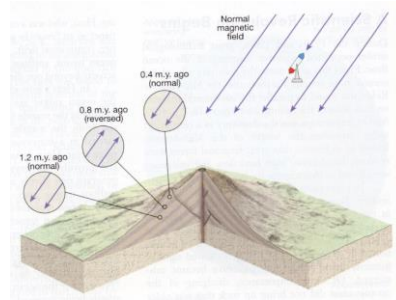
Původ zemského magnetismu

- Původ zemského magnetismu: vnější jádro Země.
- Feromagnetické látky ztrácejí své magnetické schopnosti již při teplotě okolo 500 st. C (Curieův bod) a teplota v zemském jádře přesahuje 4000 st. C, nemůže být jádro permanentním magnetem.
- Vysvětlení : Teorie hydromagnetického dynama (první polovina 20. století)
- Seismologická měření: vnější jádro Země je kapalné, je tvořeno proudícími elektricky vodivými látkami
- Faradayův zákon magnetické indukce: pohyb vodiče v elektrickém poli indukuje magnetické pole a naopak -- v našem případě proudění vodivých látek ve vnějším jádře indukuje magnetické pole Země.

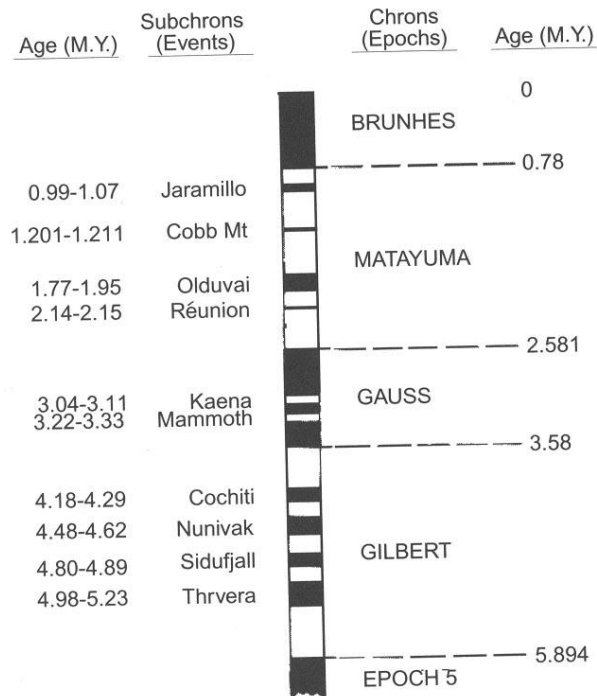


Změny orientace magnetického pole

- Celá řada hornin je samovolně magnetizovatelná - feromagnetické minerály se orientují souhlasně se siločarami zemského magnetického pole a vytvářejí tak vlastní magnetická pole.
- Měřením zbytkových magnetických polí změny magnetického pole Země.
- Změny – intenzita, deklinace, přepólování
- období normální magnetické polarity (severní magnetický pól u severního pólu rotace)
- Období reverzní magnetické polarity (severní magnetický pól poblíž jižního pólu rotace).
- Poslední přepólování : 790 000 let, kdy se změnila polarita z reverzní na normální (dnešní).
- Základní jednotka: chron, kratší výkyv: subchron

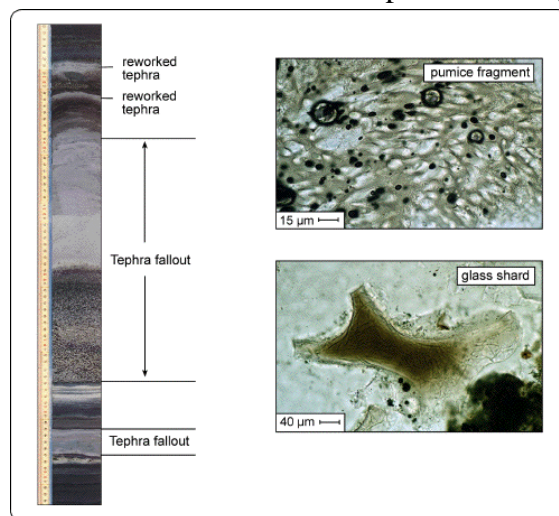


Magneto-stratigrafické epochy



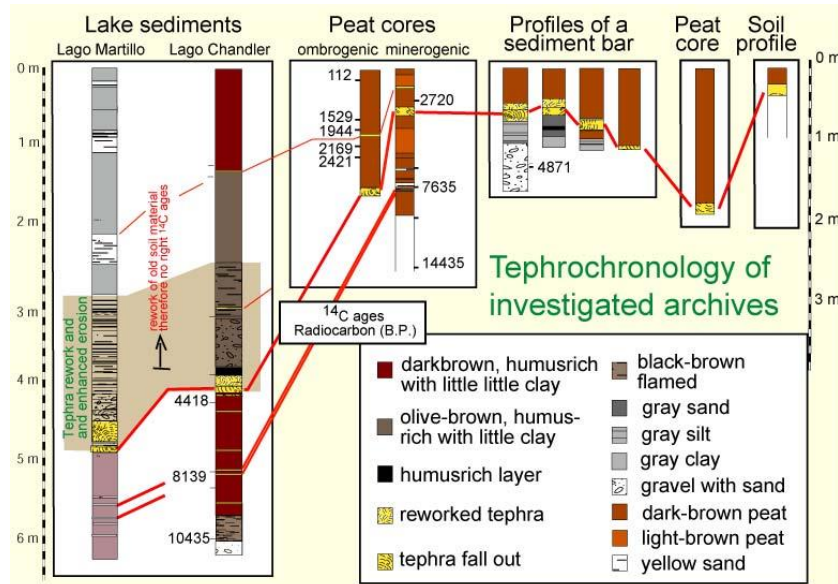
Událostní stratigrafie: tefrochronologie

- ✱ Petrographic and chemical studies can identify unique tephra signatures which can then be used in a tephrochronology



http://www.gfz-potsdam.de/pb3/pb33/projects/monticchio_tephrochronology/content_en.html

Tefrochronologie



<http://www.grancampo.de/english/tephra/tephra3.htm>

Chemostratigrafie

1. 3 Oxygen Isotopes; ^{16}O and ^{18}O most common

2. Fractionation

a. ^{16}O lighter so evaporates preferentially; ^{18}O heavier so condenses preferentially
 b. ratio at which these isotopes enter chemical compounds is temperature dependent

c. most widely used proxy for:

- changes in global ice sheet volume
- changes in global temperatures

3. Measurement

a. measure how much $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio deviates from isotope proportions found in modern oceans

b. $\delta^{18}\text{O}$ ‰ is zero for standard marine ocean water

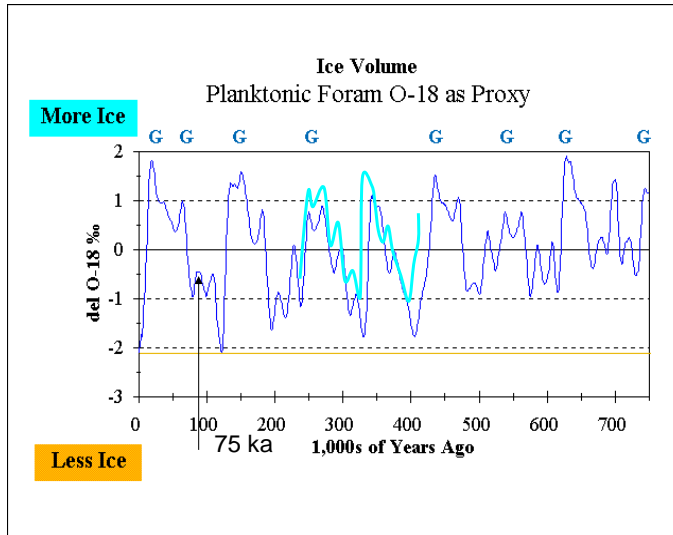
4. During Glacials:

- ^{16}O preferentially evaporated from oceans
- ^{16}O deposited on ice sheets & concentrated there
- ice sheets relatively depleted in ^{18}O so $\delta^{18}\text{O}$ is negative
- ^{18}O concentrated in seawater; ice age oceans have $\delta^{18}\text{O}$ values of about +5
- marine shells also enriched in ^{18}O during glacials

5. Challenges

- ice core interpretation
- marine core interpretation

Globální $\delta^{18}\text{O}$ křivka za posledních 700 tisíc let



Vrtné projekty
DSDP a ODP

Pelagické
sedimenty, cca
konstantní rychlost
sedimentace,
datování

^{18}O v schránkách
plaktonních
foraminifer (CaCO_3)

Časové řady

Korelace
záznamu
 $\delta^{18}\text{O}$ ve
vrtech
DSDP

Tichý oceán

Karibské
moře

Atlantický
oceán

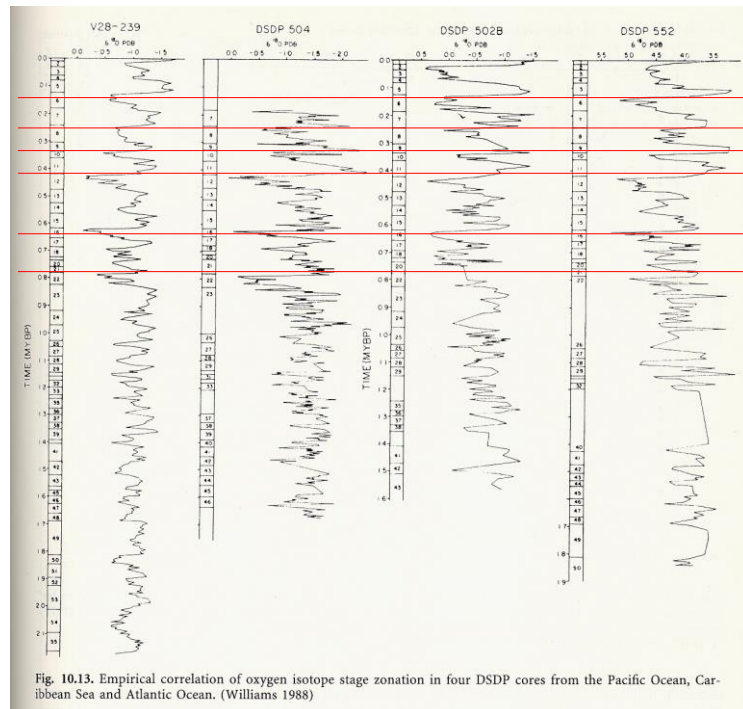
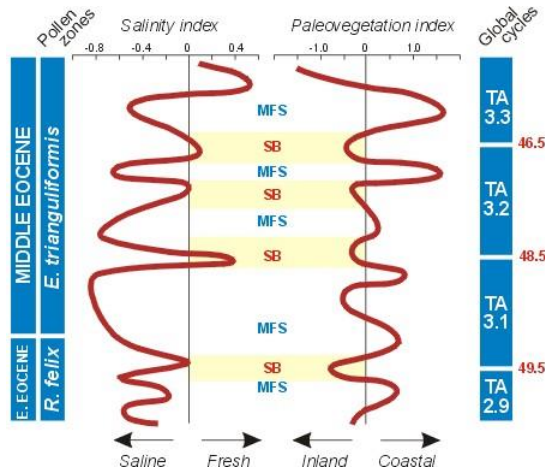


Fig. 10.13. Empirical correlation of oxygen isotope stage zonation in four DSDP cores from the Pacific Ocean, Caribbean Sea and Atlantic Ocean. (Williams 1988)

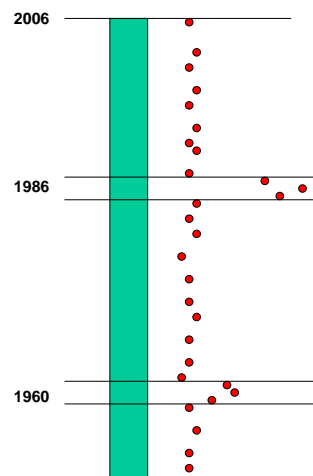
Ekostratigrafie

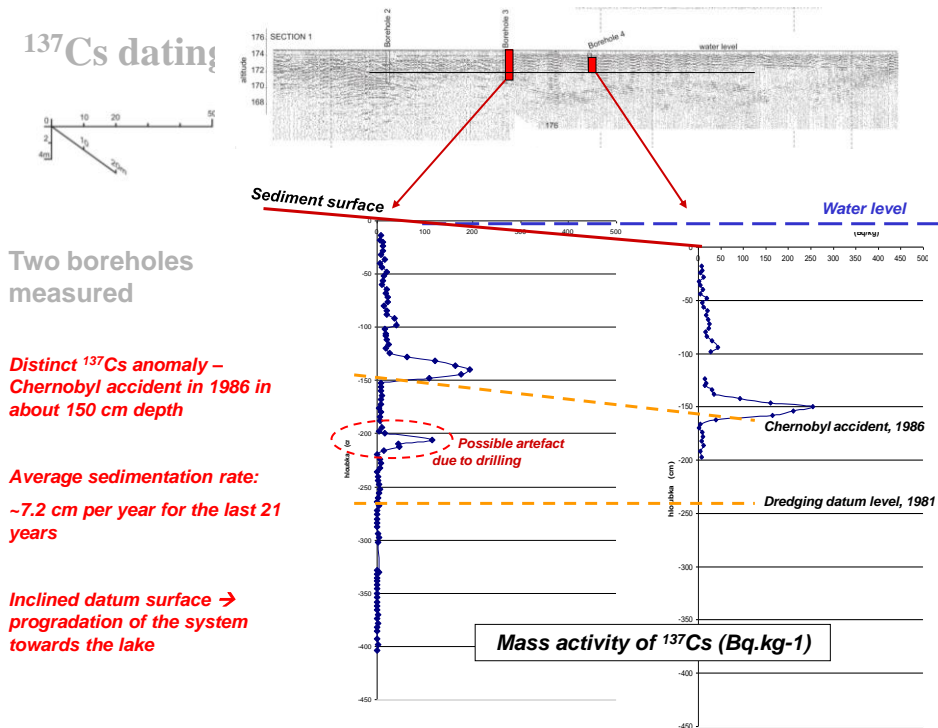
is the stratigraphy of ecosystems, a powerful tool for high-resolution cyclic and sequential stratigraphy, based on biostratigraphy. It is founded on the application of ecological knowledge to the reconstruction of past ecosystems and their succession, in relation to global external forcing agents such as sea level oscillations, climate changes, etc. The ecostratigraphic techniques used in this study (mainly palynocycles and ecologs) have provided regional chronostratigraphic correlation frames from 2nd order cycles (3 to 50 million years duration) to periodic cycles within the Milankovitch band (around 100,000-year period), for Paleocene, Eocene, Oligocene, and Miocene stratigraphic sequences.



Datování ^{137}Cs

- ^{137}Cs : antropogenní izotop, vzniká jako produkt umělých radioaktivních rozpadů (jaderné elektrárny, jaderné výbuchy)
- Gamaspektrometrické měření
- Černobyl 1986
- Pacific nuclear weapon tests 1960-61





Chronostratigrafie

Integrovaná globální stratigrafie

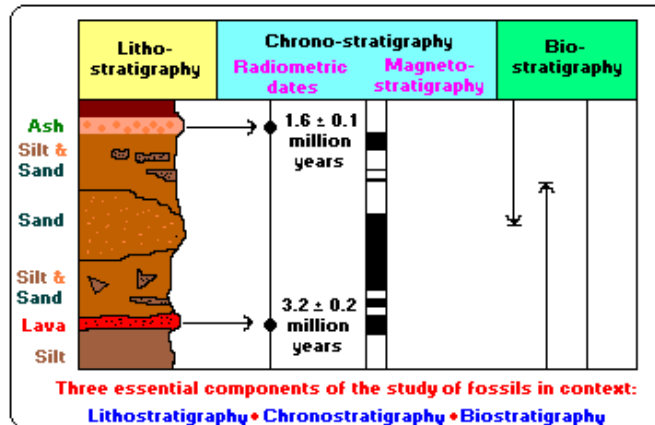
Chronostratigraphic units (time-rock units) - all strata in the world deposited during a given time interval (example: Upper Devonian Series)

Příklad:	Chronostratigrafické jednotky	Geochronologické jednotky	Oblastné litostratigrafické jednotky	Rýdzo biostratigrafické jednotky
fanerozoikum	eonotem	eon		
mezozoikum	eratem	era		
jura	útvar	perioda	skupina	
lias	oddelenie	epocha	súvrstvie	rôzne druhy biostratigrafických zón
toark	stupeň	věk	člen	(subzóna)
Hildoceras bifrons	chronozóna	chron	vrstva (horizont)	(biohorizont)

Obr. 23a. Prehľad hlavných stratigrafických jednotiek. Chronostratigrafické a geochronologické jednotky si vzájomne zodpovedajú a ich obsah je presne stanovený. Oblastné litostratigrafické a biostratigrafické jednotky sú nezávislé od iných stupní a hierarchické usporiadanie je relatívne

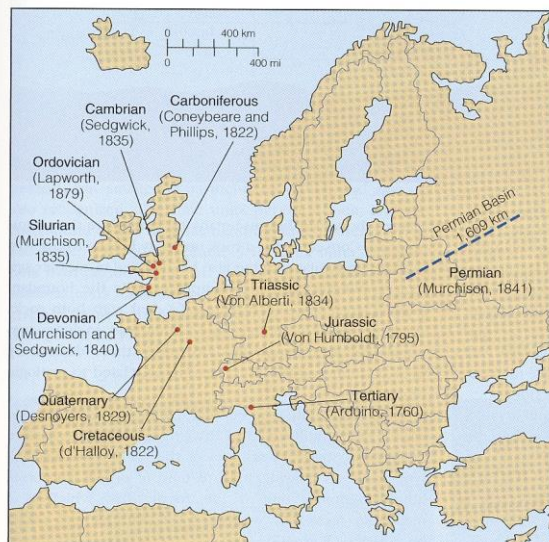
Chronostratigrafie

Integrace stratigrafických metod

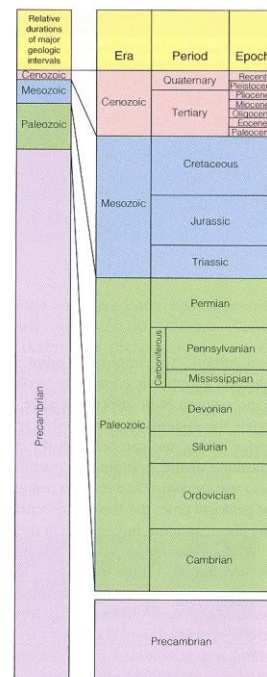


Geologická časová škála

“time-rock” units



(a)



(b)

GSSP : Global Standard Section and Point

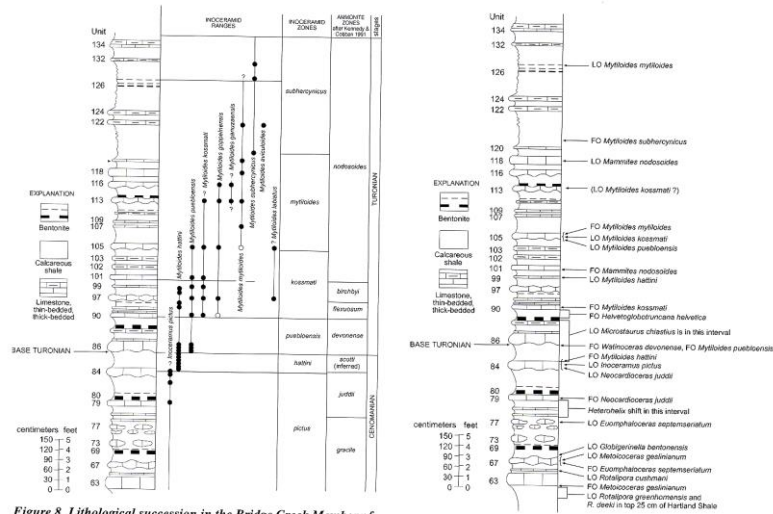
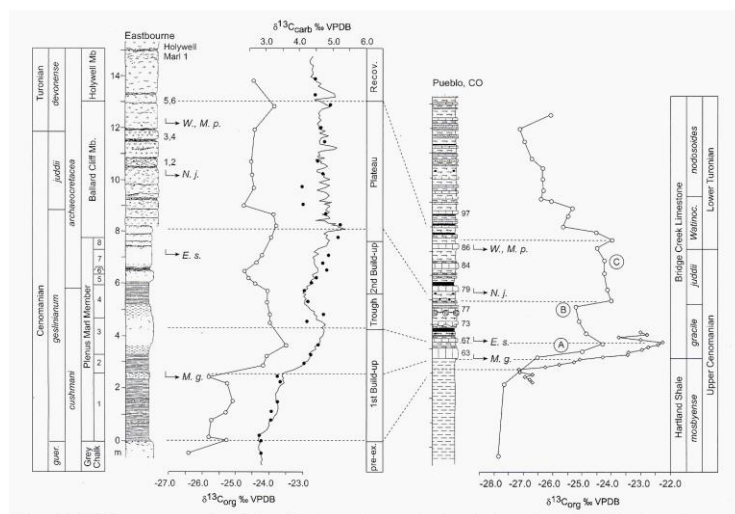


Figure 8 Lithological succession in the Brides Creek Member of

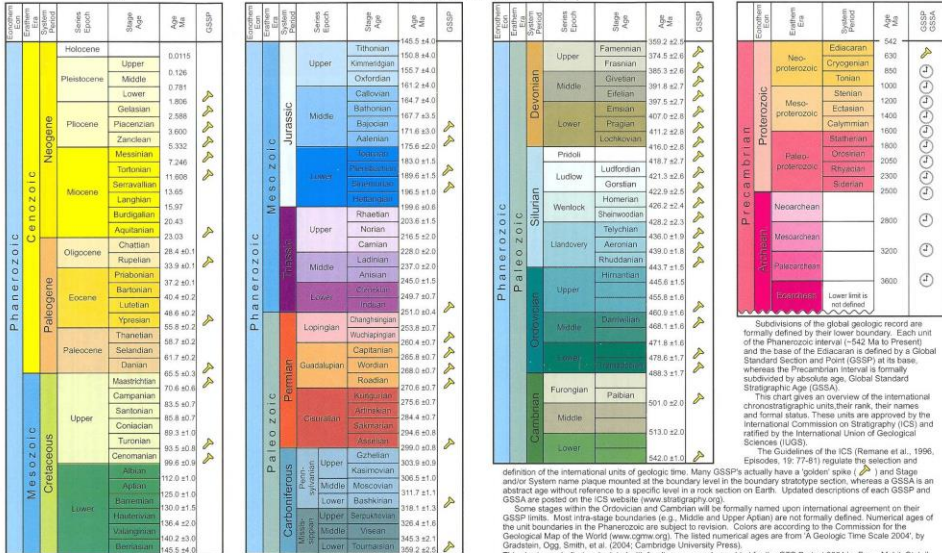
GSSP





INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART

International Commission on Stratigraphy



This chart is copyright protected; no reproduction of any parts may take place without written permission by the International Commission on Stratigraphy.

definition of the international units of geological time. Many GSSPs actually have a 'golden spike' (a) and Stage and/or System name plaque mounted at the boundary level in the boundary stratigraphic section. Each unit of the Phanerozoic interval (542 Ma to Present) and the base of the Eozoic is defined by a Global Standard Section and Point (GSSP) at its base, whereas the Precambrian interval is formally subdivided by absolute ages. Global Standard Stratigraphic Age (GSSA).

This chart gives an overview of the international chronostratigraphic units, their rank, their names and formal status. These units are approved by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS).

The Guidelines of the ICS (Renne et al., 1996, Episodes, 19: 77-81) regulate the selection and

Some stages within the Ordovician and Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most intra-stage boundaries (e.g., Middle and Upper Aftonian) are not formally defined. Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World (www.cgmw.org). The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004' by Gradstein, Ogg, Smith, et al. (2004, Cambridge University Press).

This chart was drafted and printed with funding generously provided for the GTS Project 2004 by ExxonMobil, Statoil Norway, ChevronTexaco and BP. The chart was produced by Gabi Ogg.

Copyright © 2004 International Commission on Stratigraphy

Table 1

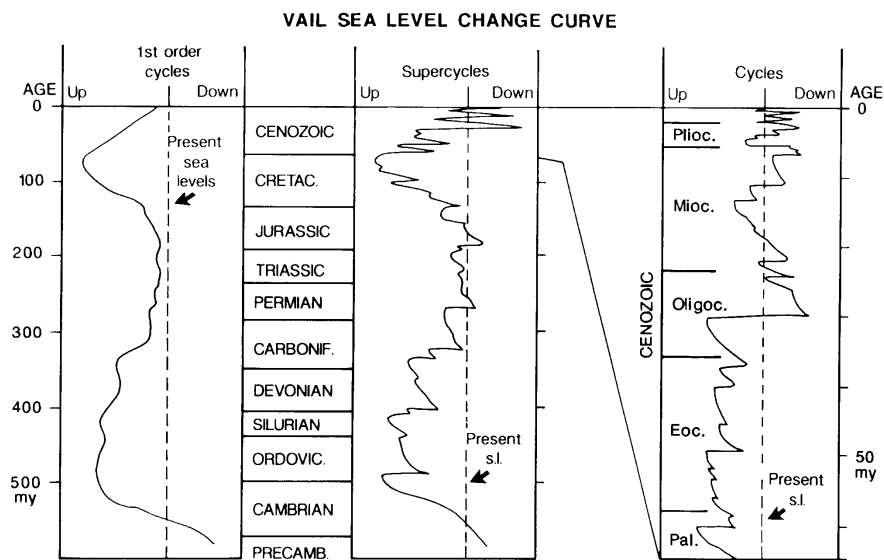
Summary of Categories and Unit-Terms in Stratigraphic Classification*

Stratigraphic Categories	Principal Stratigraphic Unit-terms	Equivalent Geochronologic Units
Lithostratigraphic	Group Formation Member Bed(s), Flow(s)	Eon Era Period Epoch Age Subage (or Age) (Chron)
Unconformity-bounded	Synthem	
Biostratigraphic	Biozones: Range zones Interval zones Lineage zones Assemblage zones Abundance zones Other kinds of biozones	
Magnetostratigraphic polarity	Polarity zone	
Other (informal) stratigraphic categories (mineralogic, stable isotope, environmental, seismic, etc.)	-zone (with appropriate prefix)	
Chronostratigraphic	Eonothem Erathem System Series Stage Substage (Chronozone)	

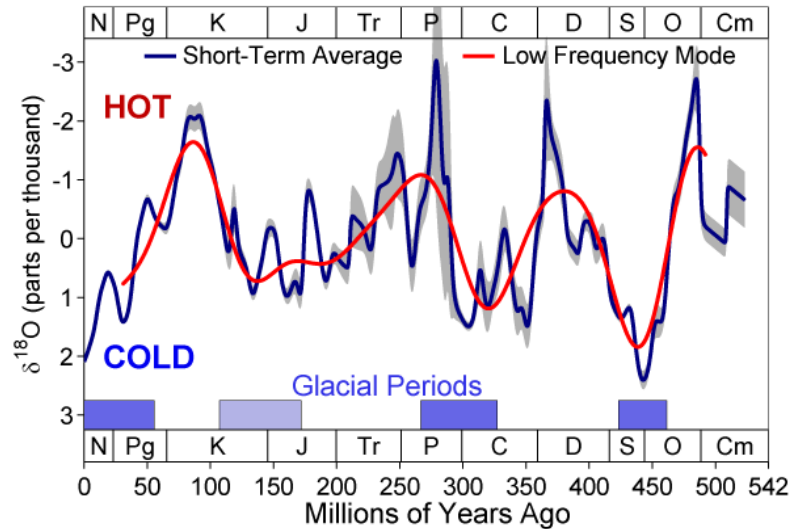
* If additional ranks are needed, prefixes Sub and Super may be used with unit-terms when appropriate, although restraint is recommended to avoid complicating the nomenclature unnecessarily.

Dlouhodobé trendy ve vývoji Země

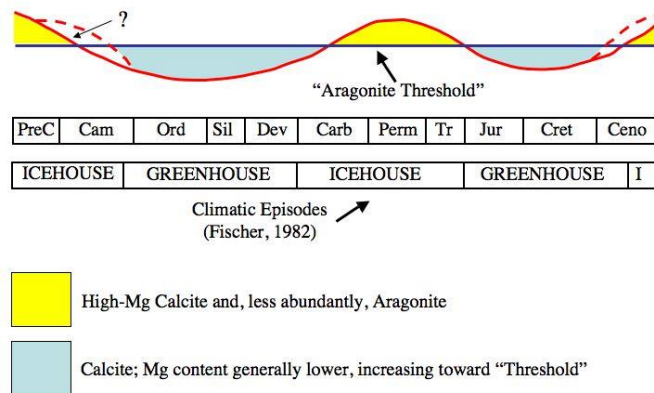
Křivka globálních změn mořské hladiny



Phanerozoic Climate Change



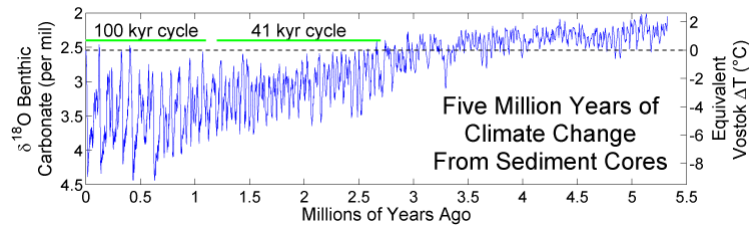
Kalcitová / aragonitová moře : poměr Mg/Ca



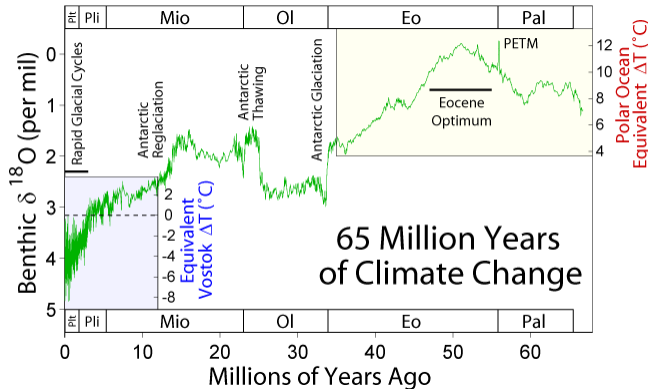
After Sandberg (1983)

Aragonite seas occur due to several factors, the most obvious of these is a high seawater Mg/Ca ratio ($\text{Mg}/\text{Ca} > 2$), which occurs during intervals of slow seafloor spreading. ^[4] However, the [sea level](#), temperature, and calcium carbonate saturation state of the surrounding system also determine which polymorph of calcium carbonate (aragonite, low-magnesium calcite, high-magnesium calcite) will form. ^{[4][5]}

Likewise, the occurrence of calcite seas is controlled by the same suite of factors controlling aragonite seas, with the most obvious being a low seawater Mg/Ca ratio ($\text{Mg}/\text{Ca} < 2$), which occurs during intervals of rapid seafloor spreading. ^{[4][5]}

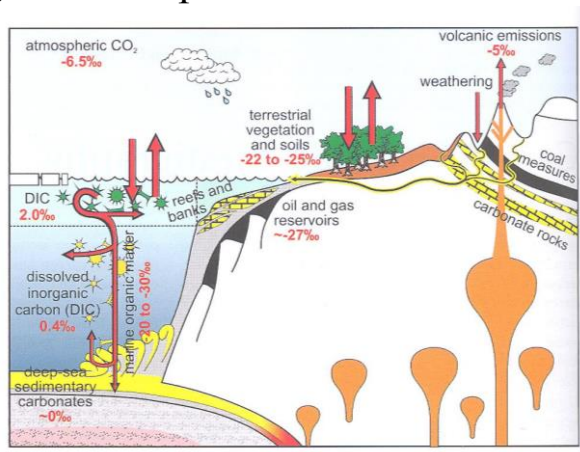


- Paleogén – neogén
- Paleocén-eocenní termální maximum (PETM)
- Eocenní klimatické optimum
- Miocenní klimatické optimum
- Glaciace antarktidy
- Střídání glaciálů a interglaciálů

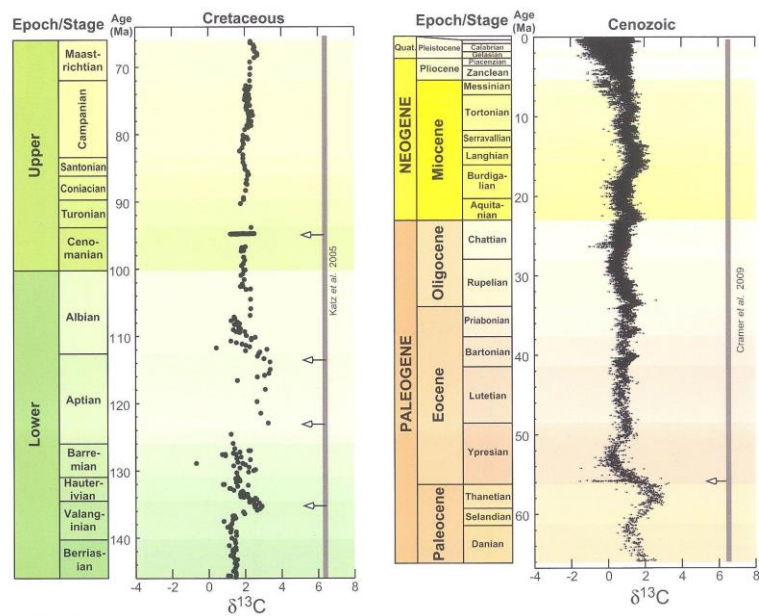
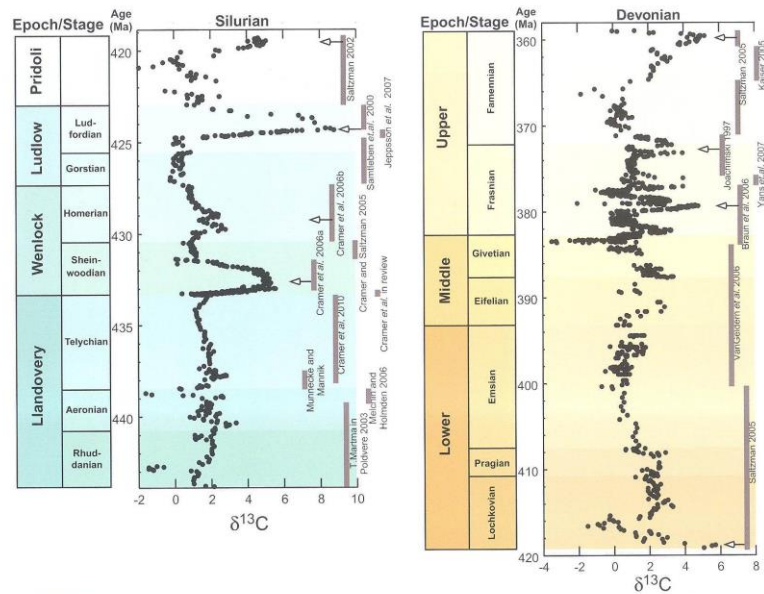


Chemostratigrafie: stratigrafie izotopů uhlíku

- Metoda stratigrafické korelace
- Poměr izotopů ^{13}C / ^{12}C , který je ovlivněn globálním cyklem uhlíku
- Frakcionace izotopů během fotosyntézy: organická hmota je obohacena o ^{13}C – nízké hodnoty $\delta^{13}\text{C}$
- Pohřbení organické hmoty (mořská anoxie) → vzrůst hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ v globálním cyklu
- Intervaly oceánské anoxie, paleoklimatické interpretace



Izotopické složení zdrojů uhlíku v globálním uhlíkovém cyklu



$p\text{CO}_2$ atmosféry v geologické minulosti kambrium - recent

Souhra

- vulkanické činnosti (produkce oceánské kůry, platóbazalty)
- rychlostí a množství zvětrávání silikátů

• Vegetačního pokryvu kontinentů
→ pohřbívání organického C

- Kolonizace souše vyššími rostlinami (silur – devon)

- Produkce uhličitanu vápenatého

• Hlavní orogeneze

- kaledonská
- variská
- alpinská

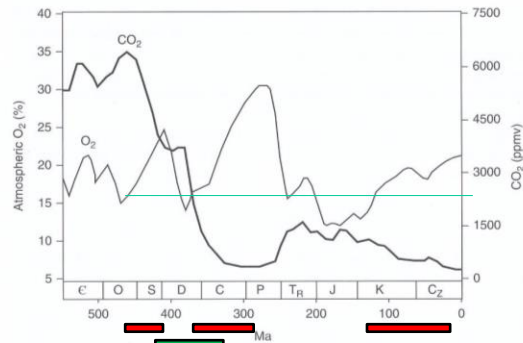


Fig. 7.2 Estimations of atmospheric O_2 and CO_2 during Phanerozoic time. Drawn from models in Berner and Berner (1996) and Berner (2006). Uncertainty in CO_2 values is $\pm 30\%$ of plotted value, meaning that at the Cambrian – Ordovician boundary, CO_2 was $\sim 6000 \pm 1800$ ppmv. From left to right and oldest to youngest, geological periods are Cambrian (C), Ordovician (O), Silurian (S), Devonian (D), Carboniferous (C), Permian (P), Triassic (Tr), Jurassic (J), Cretaceous (K) and Cenozoic (Cz).